

# 고강도유동화 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 단위결합재량의 영향에 관한 실험적 연구

(제 2 보 경화콘크리트의 공학적 특성)

## An Experimental Study on the Influence of Bonding Material Content Affecting on the Engineering Properties of High Strength Flowing Concrete (Part II properties of hardened concrete)

○김진만\*    이상수\*\*    최진성\*\*    박정일\*\*    김무한\*\*\*  
Kim Jin Man    Lee Sang Soo    Choi Jin Sung    Park Jeong Il    Kim Moo Han

### ABSTRACT

Although bonding material content of the high strength flowing concrete is very important in engineering properties, in rich mix concrete increasing the bonding material content may not follow more good properties. This study is to investigate the influence of the bonding material content affecting on the engineering properties of high strength flowing concrete, and this paper is to analyze the properties of hardened concrete. The results reveal that the strength of concrete having less bonding material content is higher than that of concrete having more bonding material content, and that in proportion to increasing of concrete strength brittleness factors decrease, and that the static modulus of elasticity in this study is less than that in specification.

### 1. 서론

본연구는 물결합재비 25-35(%) 범위의 고강도유동화 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 단위결합재량의 영향에 관하여 실험적으로 알아보기 위한 것으로, 물결합재비별 단위결합재량을 3수준씩 설정하여 각각 플래인 콘크리트와 플라이애시 콘크리트(단위시멘트량의 10(%)를 플라이애시로 대체 하였음)를 제조하여 각각의 물성을 상호 비교분석하였으며, 본보는 경화콘크리트의 역학적 특성을 고찰한 제 2보 이다.

### 2. 실험결과 및 고찰

#### 2.1 단위결합재량에 따른 압축강도 발현 검토

표1은 경화콘크리트의 시험결과들 나타낸 것으로 물결합재비가 저하함에 따라 강도의 발현이 큰 것으로 나타났다. 단위결합재량에 따른 콘크리트의 압축강도의 발현을 나타낸 그림 1에서 알 수 있는 바와같이 본실험에 나타난 콘크리트의 28일 압축강도는 물결합

표 1. 경화콘크리트의 시험결과

W/B (%)	결합재량 (kg/m <sup>3</sup> )	측정항목		압축 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		인장 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		정탄성계수 (x10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )		
		FA (%)	age	0	10	0	10	0	10	
										1주
25	700	1주	574	584	40	39	-	-	-	-
		4주	704	739	40	42	4.07	4.01	-	-
		8주	760	781	46	43	-	-	-	-
	650	1주	574	557	37	38	-	-	-	-
		4주	712	740	49	45	4.13	4.02	-	-
		8주	746	804	50	47	-	-	-	-
600	1주	611	571	40	40	4.09	4.46	-	-	
	4주	749	772	44	45	-	-	-	-	
	8주	808	861	53	48	-	-	-	-	
30	600	1주	503	494	36	34	-	-	-	-
		4주	613	597	45	44	3.91	3.80	-	-
		8주	620	690	45	45	-	-	-	-
	550	1주	525	485	35	34	-	-	-	-
		4주	641	639	45	45	3.95	3.81	-	-
		8주	672	677	44	49	-	-	-	-
500	1주	541	555	40	40	-	-	-	-	
	4주	647	685	42	42	4.09	4.12	-	-	
	8주	681	776	49	47	-	-	-	-	
35	500	1주	422	421	33	31	-	-	-	-
		4주	527	556	40	36	3.63	3.72	-	-
		8주	565	618	42	40	-	-	-	-
	450	1주	437	395	31	32	-	-	-	-
		4주	534	517	35	37	3.70	3.68	-	-
		8주	550	553	37	40	-	-	-	-
400	1주	405	396	32	33	-	-	-	-	
	4주	536	526	37	40	3.91	3.90	-	-	
	8주	580	610	39	41	-	-	-	-	

\* 정회원, 충남대 대학원 건축공학과, 박사과정.

\*\* 충남대 대학원 건축공학과, 석사과정.

\*\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

재비 25(%)의 경우 700(kg/cm<sup>2</sup>) 이상, 물결합재비 30(%)에서는 600 (kg/cm<sup>2</sup>)이상, 물결합재비 35(%)에서는 500(kg/cm<sup>2</sup>) 이상으로 나타났다. 기존의 연구보고에 의하면, 콘크리트의 물시멘트비가 30(%) 이하로 될 경우 압축강도는 거의 증가가 없는 것으로 보고되고 있으나 본 실험에서는 물결합재비 25(%)에서도 계속적인 강도 증진을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이는 건비빔과 선모터비빔의 조합 및 고성능감수제의 첨가방법의 변화를 통하여 시멘트계 재료 즉, 결합재의 균일한 분산을 도모하였기 때문에 가능하였던 것으로 사료되며, 위와같은 방법을 사용할 경우 물시멘트비 25(%) 이하에서도 강도의 증진을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.

단위결합재량에 따른 콘크리트의 압축강도의 발현을 살펴보면, 물결합재비 35(%)에서는 단위결합재량에 관계 없이 동일한 수준의 압축강도의 발현을 보이고 있다. 그러나 물결합재비 30(%)의 경우에는 플라이인콘크리트 및 플라이에시 콘크리트 모두 단위결합재량의 저하에 따라 강도가 증가하는 경향을 보이고 있으며 이러한 경향은 플라이에시 콘크리트의 경우가 좀더 뚜렷한 것으로 나타났다. 또한, 물결합재비 25(%)의 경우에도 단위결합재량의 저하에 따라서 강도가 증가하는 경향을 보이고 있고 특히 플라이에시 콘크리트의 경우 단위결합재량 700(kg/m<sup>3</sup>)보다 단위결합재량 600(kg/m<sup>3</sup>)의 경우가 재령 8(주)에 80(kg/cm<sup>2</sup>) 정도의 강도를 더 발현하고 있다. 기존의 연구결과에 의하면, 단위결합재량 700(kg/m<sup>3</sup>)까지는 시멘트량의 증가에 따라 강도도 증가하는 것으로 보고

되고 있으나 본 실험에서는 이와 달리 700(kg/m<sup>3</sup>) 이하에서 높은 압축강도를 보이고 있다.

또한 단위결합재량이 동일할 경우에는 조합조건에 관계없이 물결합재비가 작은 경우가 평균 130(kg/cm<sup>2</sup>) 정도 높은 값을 보이고 있어 고강도 영역에

표 2. 4주압축강도에 대한 각 재령의 압축강도 비교

W/B (%)	단위결합재량 (kg/m <sup>3</sup> )	FA대체율 (%)	백분율* (%)			비교값** (kg/cm <sup>2</sup> )		
			1주	4주	8주	1주	4주	8주
25	700	0	82	100	108	-130	0	56
		10	79	100	106	-155	0	42
	650	0	81	100	105	-138	0	34
		10	75	100	109	-183	0	64
	600	0	82	100	108	-138	0	59
		10	74	100	112	-201	0	89
30	600	0	82	100	101	-110	0	7
		10	83	100	116	-103	0	93
	550	0	82	100	105	-116	0	31
		10	76	100	106	-154	0	38
	500	0	84	100	105	-106	0	34
		10	81	100	113	-130	0	91
35	500	0	80	100	107	-105	0	38
		10	76	100	111	-135	0	62
	450	0	82	100	103	-97	0	16
		10	76	100	107	-122	0	36
	400	0	76	100	108	-131	0	44
		10	75	100	116	-130	0	84

\* 각 재령의 압축강도 / 4주 압축강도 × 100

\*\* 각 재령의 압축강도 - 4주압축강도

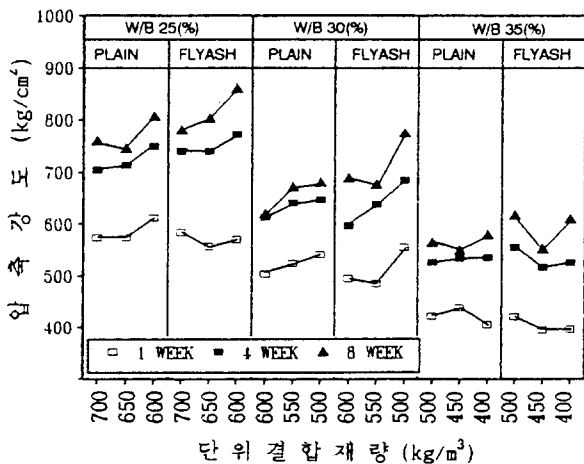


그림 1. 단위결합재량에 따른 압축강도의 변화

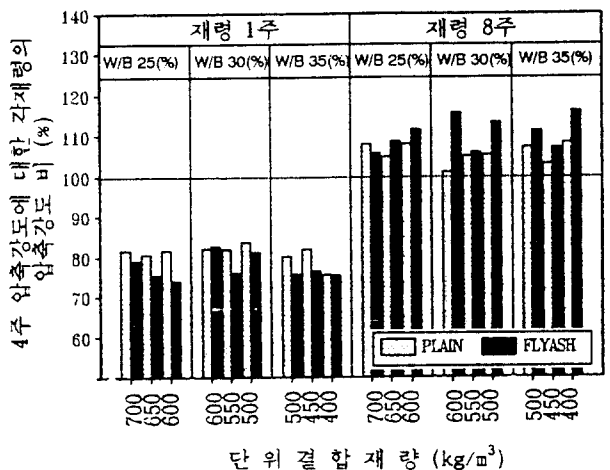


그림 2. 단위결합재량에 따른 4주 압축강도에 대한 각 재령의 압축강도 비율

서도 단위결합재량의 영향 보다는 물결합재비가 강도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

플라이애시를 사용한 콘크리트는 플레인콘크리트와 비교하여 초기재령에서는 낮으나 재령이 증가할수록 높은 압축강도를 보이고 있으며, 특히 물결합재비 25(%)의 경우 단위결합재량 600(kg/m<sup>3</sup>)의 플라이애시 콘크리트는 재령 8(주)에 압축강도 861 (kg/cm<sup>2</sup>)의 고강도를 발현하여 단위결합재량 700(kg/m<sup>3</sup>)의 콘크리트에 비하여 단위결합재량은 100(kg/m<sup>3</sup>), 단위시멘트량은 140(kg/m<sup>3</sup>) 적음에도 불구하고 100(kg/cm<sup>2</sup>)의 강도를 더 발현하고 있다. 이와같이 본실험의 고강도 유동화 콘크리트에서는 플라이애시의 사용에 의하여 콘크리트의 압축강도를 증진시킨 것으로 나타나 고강

도유동화 콘크리트의 제조시 플라이애시의 사용은 경제성 및 수화열 감소 측면은 물론 강도 증진 측면에서도 고려 되어야할 것으로 사료된다.

재령 4(주) 압축강도에 대한 재령 1, 8(주)의 강도 비율을 나타낸 표2 및 그림 2에서 알 수 있는 바와같이 플레인콘크리트에 비교하여 플라이애시콘크리트는 초기 재령의 강도 발현율은 낮은 반면 후기 재령의 강도 발현율은 높은 것으로 나타났으며 단위결합재량 및 물결합재비에 따른 유의할만한 경향은 보이지 않고 있다.

### 2.2 단위결합재량에 따른 인장강도 발현 검토

단위결합재량에 따른 인장강도의 발현을 나타낸 그

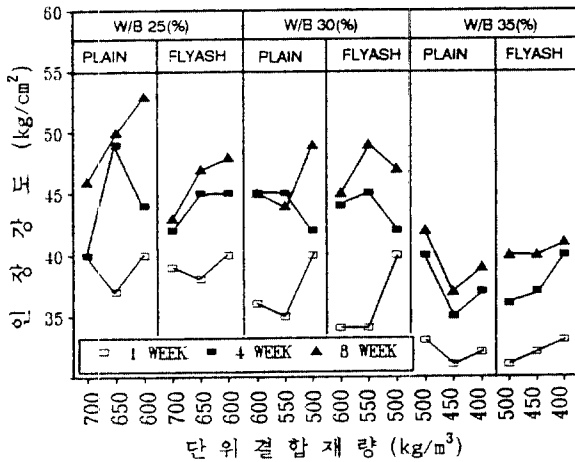


그림 3. 단위결합재량에 따른 인장강도의 변화

표 3. 압축강도와 인장강도의 비 (취도계수:  $F_c/F_t$ )

물결합재비 (%)	단위결합재량 (kg/m <sup>3</sup> )	플레인 콘크리트			플라이애시 콘크리트		
		1주	4주	8주	1주	4주	8주
25	700	14.4	17.6	15.3	15.0	17.6	18.2
	650	15.5	14.5	14.9	14.7	16.4	17.1
	600	15.3	17.0	15.2	14.3	17.2	17.9
30	600	14.0	13.6	13.8	14.5	13.6	15.3
	550	15.0	14.2	15.3	14.3	14.2	13.8
	500	13.5	15.4	13.9	13.9	16.3	16.5
35	500	12.8	13.2	13.4	13.6	15.4	15.5
	450	14.1	15.3	14.9	12.3	14.0	13.8
	400	12.7	14.5	14.9	12.0	13.2	14.9

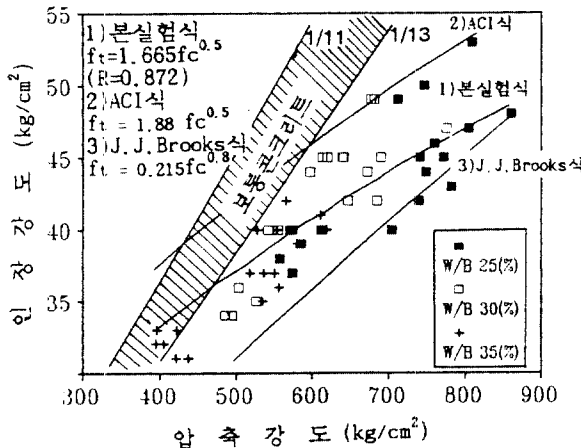


그림 4. 압축강도와 인장강도의 관계

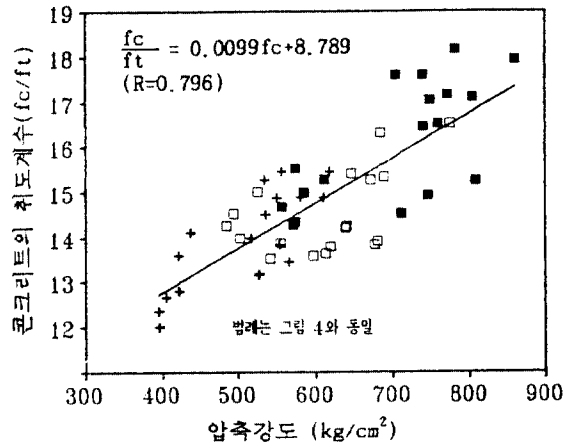


그림 5. 압축강도와 취도계수의 관계

림 3에서 알 수 있는 바와같이 단위결합재량 및 플라이애시의 대체에 따른 경향은 보이지 않고 있으나 물결합재비 35(%)와 30(%)의 인장강도의 차이가 비교적 큰 반면, 물결합재비 30(%)와 25(%)의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

콘크리트의 압축강도가 증가하면 인장강도도 증가하게 되나 인장강도와 압축강도의 비는 감소하게 되고 콘크리트의 취성도는 증가하게 된다. 본실험에서도 기존의 연구보고와 동일한 경향을 보이고 있으나 동일 압축강도에서 ACI의 식에 비하여 약간 낮은 수준의 인장강도를 보이는 것으로 나타났으며, 본실험식은 다음과 같다.

$$\sigma_t = 1.665 \sigma_c^{0.5}$$

또한 콘크리트의 취성도는 표 3 및 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 압축강도의 증가에 따라서 증가하는 것으로 나타났으며, 물결합재비, 단위결합재량 및 플라이애시의 대체에 따른 유의할만한 경향은 없는 것으로 나타났다. 본실험에서의 취도계수와 압축강도의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_t} = 0.0099 \sigma_c + 8.789$$

### 2.3 탄성계수

그림 6은 압축강도와 정탄성계수의 관계를 나타낸 것으로 본실험에서의 탄성계수 측정치는 3.6-4.5 ( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )의 범위로 나타났으며, 학회식 및 ACI 식에 비하여 동일 압축강도에서 낮은 탄성계수를 보이고 있다. 또한 물결합재비, 단위결합재량 및 플라이애시의 대체에 따른 일정한 경향은 보이지 않고 있다.

### 3. 결론

고강도유동화콘크리트의 시공성 및 공학적특성에 미치는 단위결합재량의 영향에 관하여 실험적으로 고찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 고성능감수제의 적절한 사용과 새로운 비빔방법을 채용하여 물결합재비 25-35(%)의 범위에서 건축공사 표준시방서의 참고배합표를 기준으로 추정한 단위결합재량의 하한치에서 50-100( $\text{kg/m}^3$ ) 절약하고도 유동성은 동일한 수준을 유지하고 압축강도는 더 증진된 콘크리트의 제조가 가능 하였다.
- 2) 본실험결과에 의하면 콘크리트의 시공성, 역학적 특성 및 경제성 등의 조건을 만족하는 고강도유동화 콘크리트의 최적 단위결합재량은 물결합재비 25(%)의

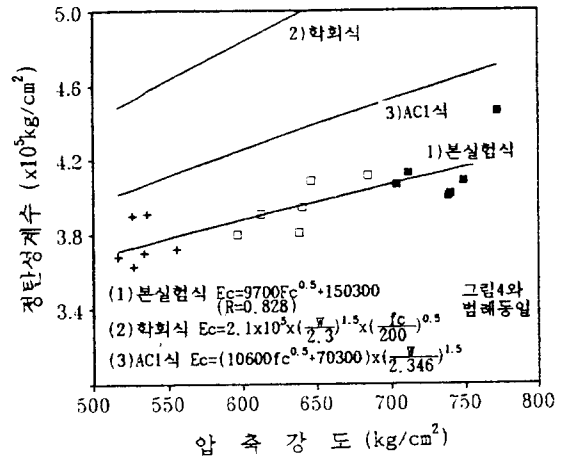


그림 6. 압축강도와 정탄성계수의 관계

경우 600( $\text{kg/m}^3$ ), 물결합재비 30(%)에서는 500 ( $\text{kg/m}^3$ ), 물결합재비 35(%)에서는 450( $\text{kg/m}^3$ ) 수준으로 나타났다.

3) 물결합재비 25(%)까지 콘크리트의 압축강도는 물결합재의 저하에 따라서 급격히 증가하고 있어 물결합재비 25(%) 이하의 콘크리트 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4) 물결합재비 25(%)의 경우 단위결합재량 600 ( $\text{kg/m}^3$ )의 플라이애시 콘크리트는 재령 8(주)에 압축강도 861( $\text{kg/cm}^2$ )의 고강도를 발현하여 단위결합재량 700( $\text{kg/m}^3$ )의 콘크리트에 비하여 단위결합재량은 100( $\text{kg/m}^3$ ), 단위시멘트량은 140( $\text{kg/m}^3$ ) 적음에도 불구하고 100( $\text{kg/cm}^2$ )의 강도를 더 발현하고 있고 동일한 수준의 유동성을 보이고 있어 플라이애시의 사용이 고강도유동화 콘크리트의 공학적 특성 개선에 유효함을 알 수 있었다.

5) 압축강도의 증가에 따라서 고강도유동화 콘크리트의 인장강도와 압축강도의 비는 감소하고 취도계수는 증가하고 있다.

### 참고 문헌

1. 건설부, 건축공사 표준시방서, 1992, pp.186-191.
- 2) 日本建築學會, 高強度コンクリートの技術の現状, 丸善, 1991, 1.
- 3) State-of the-Art Report on High Strength Concrete, Reported by ACI Committee 363, ACI Journal, July-Aug., 1984, pp.364-411.